



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
" КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО "

А.Р. Степанюк

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ
З ДИСЦИПЛІН

за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки
та
за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки
**«Моделювання процесів та обладнання підготовки
середовищ та отримання біотехнологічних
матеріалів»**
другого (магістерського) рівня вищої освіти
ступеня «магістр»

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 13 «Механічна інженерія»
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 133 «Галузеве машинобудування»
СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Інжиніринг, комп'ютерне моделювання
та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних
виробництв**

КИЇВ 2017

До розрахункової роботи з дисциплін за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки та за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки «Моделювання процесів та обладнання підготовки середовищ та отримання біотехнологічних матеріалів» другого (магістерського) рівня вищої освіти ступеня «магістр», галузь знань 13 - «Механічна інженерія» спеціальність 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізація Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв : [Електронний ресурс] /Степанюк А.Р.; Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 28 с.

*Гриф надано Вченою радою
інженерно-хімічного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 8 від 23 жовтня 2017 р.)*

Для студентів інженерно-хімічного факультету.

Відповідальний редактор Корнієнко Я.М., професор, д.т.н.

Рецензент:

Сокольський Олександр Леонідович, доцент, к.т.н.

Навчальне видання

Степанюк Андрій Романович, к.т.н., доц. кафедри МАХНВ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

ДО РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІН

за освітньо-науковою програмою магістерської підготовки
та

за освітньо-професійною програмою магістерської підготовки
«Моделювання процесів та обладнання підготовки середовищ та отримання
біотехнологічних матеріалів»
другого (магістерського) рівня вищої освіти
ступеня «магістр»

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ 13 «Механічна інженерія»
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ 133 «Галузеве машинобудування»
СПЕЦІАЛІЗАЦІЯ Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання
хімічних і нафтопереробних виробництв

Зміст

Вступ	4
1 Мета та завдання розрахункової роботи	4
2 Завдання на розрахункову роботу	5
3 Склад, обсяг і структура розрахункової роботи	5
4 Вказівки до виконання розділів розрахункової роботи	5
4.1 Структура роботи	9
4.2 Вимоги до форматування	10
4.3 Виклад тексту розрахункової роботи	11
4.4 Оформлення розрахунків	11
4.5 Оформлення додатків	14
5 Рекомендації до виконання графічної частини роботи	14
6 Вказівки щодо порядку захисту роботи	15
7 Список рекомендованої літератури	15
Додаток А	17
Приклад виконання розрахункової роботи	

Вступ

Шлях до впровадження у виробництво наукових розробок лежить через розрахунки та створення конструкторської документації. Розробка такої документації це творчий процес, який потребує від проектувальника не тільки глибоких знань дисциплін, що викладаються у ВУЗі, але й уміння використовувати їх при проектуванні та в умовах виробництва. Від якості конструкторської документації, як правило, залежить кінцевий результат наукової розробки, доля нових машин і апаратів.

Методичні вказівки складено у відповідності до ГОСТ 2.105-95.

1 Мета та завдання розрахункової роботи

Метою розрахункової роботи є набуття практичних умінь при виконанні студентами технічної документації з дисципліни «Моделювання процесів та обладнання підготовки середовищ та отримання біотехнологічних матеріалів».

Завданнями розрахункової роботи є:

- привести класифікацію та опис відповідного обладнання;
- обґрунтувати вибір типу апарата для забезпечення процесу;
- провести порівняння апарата (машини) з аналогами;
- обґрунтувати вибір матеріалів для виготовлення апарата (машини);
- скласти матеріальний та тепловий баланси апарата (машини);
- визначити основні геометричні розміри апарата (машини);
- виконати схематичне зображення апарата (машини) та його елементи;
- презентувати виконану роботу.

2 Завдання на розрахункову роботу

Завдання видається кожному студенту особисто протягом перших двох тижнів навчання. Перелік завдань розрахункових робіт наведено в робочій навчальній програмі дисципліни.

Текст завдання підписується студентом, який буде виконувати розрахункову роботу та керівником.

Зразок завдання розміщено у Додатку А.

3 Склад, обсяг і структура розрахункової роботи

Розрахункова робота складається з розділів, перелік яких визначається керівником у завданні для виконання розрахункової роботи (Додаток А). Орієнтовний обсяг пояснювальної записки 15...25 аркушів формату А4.

4 Вказівки до виконання розділів розрахункової роботи

При виконанні розділів, необхідно звернути увагу на:

Розділ «**Вступ**».

У вступі коротко надається інформація про актуальність обладнання теплового процесу, що буде розраховуватись. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «**1. Класифікація та опис відповідного обладнання**»

У розділі наводиться класифікація та опис конструкцій відповідного обладнання.

Приблизний обсяг розділу – 5...6 аркушів.

Розділ «2 Вибір типу апарата та обґрунтування його конструкції»

У розділі наводиться призначення апарата та вибирається його тип, що забезпечує виконання технологічного процесу, а також наводиться опис основних елементів складових частин апарата і надається його схема .

Приблизний обсяг розділу – 1...2 аркуші.

Розділ «3 Вибір та характеристика теплоносіїв і матеріалів апарата»

Наводиться характеристика та обґрунтування вибору теплоносіїв, а також вибираються матеріали для основних деталей апарата з урахуванням агресивності середовищ та виконання умов міцності. Вказуються джерела та їх бібліографічні данні.

Приблизний обсяг розділу – 1...2 аркуші.

Розділ «4 Технічна характеристика»

Подаються основні технічні вимоги до апарата, що буде розраховуватись.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «5 Розрахунки, що підтверджують працездатність конструкції апарата (машини)

Підрозділ «5.1 Параметричний розрахунок апарата (машини)»

Виконується проектний або перевірочний розрахунок апарата та визначаються його основні геометричні розміри .

Приблизний обсяг розділу – 8...10 аркушів.

Розділ «Висновки»

У висновку перераховуються всі роботи, що були виконані у відповідності до змісту роботи, та приводиться технічна характеристика апарата, який розраховували. Вказуються всі авторські модифікації та модернізації.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

Розділ «Перелік посилань»

Посилання на використані джерела приводяться в тій послідовності в якій вони згадуються в тексті.

5 Рекомендації до виконання пояснювальної записки

5.1 Структура пояснювальної записки

Пояснювальна записка розрахункової роботи розпочинається титульним листом з надписом „Розрахункова робота”, наступним аркушем є „Завдання на проектування”. Далі „Зміст і розділи записки відповідно до завдання”.

До додатків вносять алгоритмічні схеми (блок-схеми), таблиці ідентифікаторів, програми, довідкові матеріали і тому подібне.

5.2 Вимоги до форматування пояснювальних записок

Текст розрахункової роботи розділяють на розділи і підрозділи, відповідно до змісту.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа (частини), позначені арабськими цифрами з крапкою. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або

підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрім першої великої літери) напівжирним форматом літер. Використання курсивного форматування, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовком розділу або підрозділу і текстом повинна бути у 3 інтервали. Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Кожен розділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки). Відстань між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

5.3 Оформлення розрахунків

Необхідні розрахунки апаратів визначаються і уточнюються керівником. **Всі величини подаються в системі СІ.** В кожному підрозділі розрахунок складається за такою схемою

1. Мета розрахунку з вказівкою, що потрібно визначити.
2. Розрахункова схема або ескіз виробу (у довільному масштабі).
3. Вхідні данні.
4. Умови розрахунку.
5. Розрахунок.
6. Висновки, відповідно до мети.

При наведенні алгоритмів та комп'ютерних програм матеріал викладається у такій послідовності :

1. Опис математичної моделі та алгоритм розрахунку.

2. Алгоритмічна-схема та її опис.
3. Данні для розрахунку.
4. Програма.
5. Результати розрахунку на ЕОМ.
6. Висновки за результатами розрахунку на ЕОМ.

Алгоритмічна-схема, її опис та програма виносяться у додаток.

5.4 Оформлення додатків

При наявності в пояснювальній записці додатків їх виконують на аркушах формату А4. Додаток нумерують українськими літерами на першому аркуші додатку, за винятком літер Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ї. Кожний додаток розпочинається з нової сторінки посередині тексту словом додаток з вказівкою номера додатку. В наступній строчці розташовується заголовок додатку.

Текст кожного додатку при необхідності розділяють на розділи, підрозділи, які нумеруються окремо по кожному додатку. Додаток може мати свій зміст та перелік посилань. Ілюстрації і таблиці в додатках нумерують у межах кожного додатка.

Для всієї роботи повинна бути наскрізна нумерація аркушів.

6 Рекомендації щодо порядку захисту розрахункової роботи

Зброшурована розрахункова робота захищається після перевірки керівником.

7 Список рекомендованої літератури

1. Беккер М.Е. Введение в биотехнологию. Пер. с латышского. „Пищевая промышленность”, Рига, 1978 г.

2. Соколов В. Н., Яблокова М. А. Аппаратура микробиологической промышленности. – Л.: Машиностроение, 1988. – 278 с.
3. Чечель С.Т. Расчет тепломасообменного оборудования. Л.: Химия, 1985. – 317 с
4. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
5. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков В.Н. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
2. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1982. – 772 с.
7. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
8. Лащинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.

Додаток А

Приклад виконання розрахункової роботи

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО ”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

на тему: Багатокорпусна випарна установка

з ДИСЦИПЛІН

**«Моделювання процесів та обладнання підготовки
середовищ та отримання біотехнологічних
матеріалів»**

Виконав студент групи ЛН-71нп _____ Ю. М. Магдич
(підпис, дата)

Керівник проекту, доц. _____ М.П. Швед
(підпис, дата)

Київ 2016

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО ”**

**Інженерно-хімічний факультет
Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**ЗАВДАННЯ
до розрахункової роботи**

студентові групи ЛН-81нп Магдич А.А.

- 1.Тема проекту: Багатокорпусна випарна установка
- 2.Термін здачі студентом закінченого проекту: 30 квітня 2016 р.
- 3.Вихідні дані до проекту: Розрахувати підігрівач 35% водяного розчину гідроксиду натрія для забезпечення наступних технологічних умов :
 - продуктивність 3,611кг/с;
 - сировина 35%водяний розчин гідроксиду натрія;
 - температура початкова 15 °С;
 - температура кінцева температура кипіння;
 - вибір гарячого теплоносія і його параметри обґрунтувати і вибрати самостійно.
- 4.Перелік питань, які мають бути розроблені: 1 Вступ. 2 Вибір і характеристика матеріалів апарата. 3 Технічна вимоги до багатокорпусної випарної установки. 4 Параметричний розрахунок багатокорпусної випарної установки.
- 5.Перелік графічного (ілюстрованого) матеріалу: Розрахункові схеми та схематичне зображення апарату.
- 6.Дата видачі завдання: „___” _____ 2016 р.

Завдання прийняв до виконання студ.

(підпис, дата)

Керівник розрахункової роботи, доцент Швед М.П.

(підпис, дата)

ЗМІСТ

Перелік скорочень, умовних позначень та термінів

Вступ

1 Вибір і характеристика матеріалів апарата .

3 Технічна вимоги до багатокорпусної випарної установки

4 Параметричний розрахунок багатокорпусної випарної установки

Висновки

Перелік посилань

ОСНОВНІ УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- c – питома масова теплоємність;
- D – діаметр кожуху;
- d – внутрішній діаметр теплообмінних труб;
- d_3 – еквівалентний діаметр;
- F – поверхня теплопередачі;
- G – масова витрата теплоносія;
- g – прискорення вільного падіння;
- K – коефіцієнт теплопередачі;
- L – довжина теплообмінних труб;
- l – визначальний розмір в критеріях подібності;
- M – маса;
- N – число пластин, потужність;
- n – число труб, число паралельних потоків;
- p – тиск;
- Δp – гідравлічний опір;
- Q – теплове навантаження;
- q – питома теплова напруга;
- r – питома масова теплота конденсації (випаровування);
- r_3 – термічний опір шару забруднення;
- S – площа поперечного перерізу потоку;
- t – температура;
- Δt – різниця температур стінки і теплоносія;
- ω – швидкість руху теплоносія;
- z – число ходів в кожухотрубних теплообмінниках;
- α – коефіцієнт тепловіддачі;
- β – коефіцієнт об'ємного розширення;
- $\delta_{ст}$ – товщина стінки теплопередаючої поверхні;
- $\lambda_{ст}$ – теплопровідність, коефіцієнт тертя;
- μ – динамічна в'язкість;
- ρ – густина;

σ – поверхневий натяг;

ξ – коефіцієнт місцевого опору;

$Re = \frac{\omega l \rho}{\mu}$ – критерій Рейнольдса;

$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ – критерій Нусельта;

$Pr = \frac{c \mu}{\lambda}$ – критерій Прандтля;

$Gr = \frac{g l^3 \rho^2}{\mu^2} \beta \Delta t$ – критерій Грасгофа;

Індекси:

1 – теплоносій з більшою середньою температурою (гарячий);

2 – теплоносій з меншою середньою температурою (холодний);

н – початкове значення, зовнішній розмір, насос;

к – кінцеве значення, кожух;

ст – стінка;

т – теплообмінник;

тр – трубний простір;

мтр – міжтрубний простір;

ш – штуцер.

2 Вибір матеріалів багатокорпусної випарної установки

Основними конструкційними матеріалами для зварної, кованої та литої хімічної апаратури найрізноманітніших класів, типів і хімічно-технологічного призначення є сталі вуглецеві, низьколеговані конструкційні (вуглецеві якісні, леговані), високолеговані (корозійностійкі, жаростійкі та жароміцні), чавуни (сірі, лугостійкі) та сплави зі спеціальними властивостями.

Для обичайок, днищ, фланців, трубних решіток, болтів, трубних пучків, патрубків штуцерів та інших деталей зварної хімічної апаратури відповідального призначення, яка працює з середовищами середньої та підвищеної агресивності, найчастіше використовують сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72. Допустима робоча температура стінки для такої сталі: від мінус 254 до плюс 600 °С, а її теплопровідність складає 17,5 Вт/м К. Для опорних лап і підкладних листів можна використати сталь Ст. 3пс ГОСТ 380-94 (сталь вуглецева звичайної якості). Допустимий тиск для такої сталі не більше 5 МПа, допустима робоча температура від мінус 40 до плюс 425 °С. Для шпильок та болтів можна використати Сталь 35 ГОСТ 1050-88, а для ущільнювальних прокладок – пароніт загального призначення ГОСТ 481-80.

3 Технічні вимоги до багатокорпусної випарної установки

Апарат призначено для підігрівання гідроксиду натрія водяною парою

1.Продуктивність по 35% водяному розчину лугу, кг/с - 3,611

2.Температура, °С:

а) розчину лугу на вході в апарат - 15

б) розчину лугу на виході з апарата - температура кипіння розчину

3.Середовище в апараті:

а) у трубному просторі - 35% розчин лугу (вибухобезпечний, агресивний);

б) у міжтрубному просторі – водяна пара (не токсична, неагресивна)

4.Абсолютний тиск, МПа:

а) у трубному просторі 0,3

б) у міжтрубному просторі 0,3

1.

4. Параметричний розрахунок багатокорпусної випарної установки

ОПИС СХЕМИ ПРЯМОТОЧНОЇ БАГАТОКОРПУСНОЇ ВИПАРНОЇ УСТАНОВКИ

Схема прямоточної багатокорпусної випарної установки БВУ зображена на рис.1. Принцип дії її (як і всіх інших БВУ) зводиться до багаторазового використання тепла пари, що гріє, вступника в перший корпус установки, шляхом обігріву кожного наступного корпусу вторинною парою з попереднього корпусу. За рахунок цього досягається в порівнянні з однокорпусною випарною установкою економія витрати первинної пари, що гріє, і холодної води в конденсаторі, а також зменшуються витрати на конденсатор і вакуум-насос. Разом з тим збільшуються витрати на додаткові корпуси БВУ.

Вихідний розчин, що повинен випаруватися, з ємкості подається насосом у підігрівач. У підігрівачі розчин нагрівається до температури кипіння й подається в перший корпус I. У трубках граючої камери випарного апарата розчин кипить і частково випарюється за рахунок тепла конденсації первинного пари, що гріє, подаваного в міжтрубний простір. Конденсат що утворився в міжтрубному просторі апарата I через конденсатовідводчик видаляється з апарата. Вторинна пара в сепараційному просторі апарата I відокремлюється від бризок розчину й надходить як гріюча пара в другий корпус 2. Аналогічні процеси протікають у всіх інших корпусах 2,3,... БВУ. З останнього корпусу 1 вторинна пара змішується з холодною водою, конденсується й у вигляді суміші конденсату й води виводиться з конденсатора. Повітря, що попадає в конденсатор разом із вторинною парою й водою, відсмоктується вакуум-насосом. Випарений до заданої концентрації розчин відкачується з останнього корпусу насосом у ємність упареного розчину.

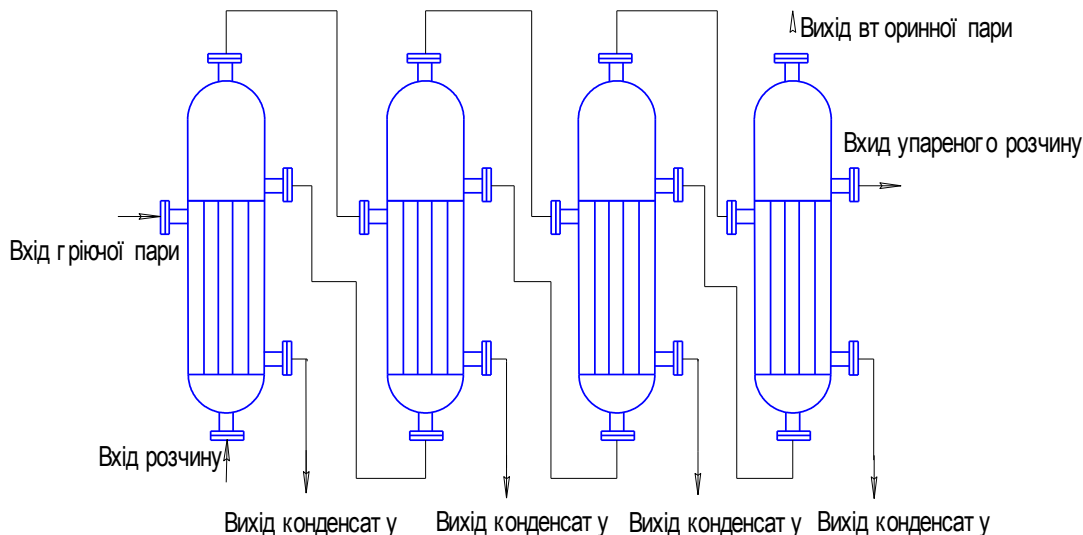


Рисунок 1 – Схема прямоточної багатокорпусної випарної установки

У цій схемі завдяки зменшенню тиску від корпусу до корпусу розчин переміщається самотоком, кількість розчину, що перетікає, регулюються встановленими на трубопроводах запірними пристроями. Температури кипіння розчинів також зменшуються від корпусу до корпусу за рахунок зменшення тиску. При цьому розчин, що надходить із кожного попереднього корпусу, потрапляючи в наступний корпус із меншим тиском, стає перегрітим, у результаті чого відбувається процес випаровування, при цьому розчин частково випаровується. Необхідна умова роботи кожного випарного апарата - наявність корисної різниці температур між парою, що гріє, і киплячим розчином. Для збільшення кратності використання первинного пари, що гріє, у такій установці необхідно збільшити перепад між тисками пари, що гріє, першого корпусу й вторинної пари останнього корпусу. Це досягається як збільшенням тиску первинного пари, що гріє, так і зменшенням тиску в останньому корпусі. Тому звичайно перший корпус працює під надлишковим тиском, а останній - під вакуумом.

Описана прямоточна схема БВУ з паралельною подачею пари й розчину в наступні корпуси досить зручна в експлуатації й знаходить широке використання у виробництві.

Методика теплового розрахунку багатокорпусної шпарной установки

Метою даного розрахунку є визначення поверхні теплообміну і вибір числа корпусів та площі поверхні теплообміну з числа стандартних, для забезпечення ефективного процесу теплообміну і мінімальних габаритів апарата.

При проектному теплового розрахунку БВУ задаються наступними величинами: продуктивність S_0 установки по вихідному розчину, концентрації розчину на вході в установку b_0 та на вході з установки b_n , температура розчину на вході в перший корпус t_{el} , кількість екстра-пари E_i , що відбирається з кожного i -того корпусу для зовнішніх споживачів, параметри гріючої пари (P_{2l}, t_{2l}) та параметри вторинної пари останнього корпусу (P_n, t_n), число корпусів i випарної установки.

Метою розрахунку є визначення витрати D_i гріючої пари, параметрів пари та розчину по окремих корпусах БВУ, величини поверхні F_i теплообміну по окремих корпусах.

Проектний тепловий розрахунок БВУ полягає в спільному рішенні рівнянь матеріального та теплового балансів, теплопередачі і рівнянь зв'язку, характерних для процесу випарювання. Розрахунок повної системи рівнянь, що описують тепловий режим БВУ, складний [1]. Тому у відомих методах теплового розрахунку роблять ті або інші допущення, що спрощують розрахунок [1,2,3].

У прийнятій нами методиці розрахунок БВУ ведеться в наступній послідовності:

1. Встановлення температурного режиму.

2. Визначення кількості води, що випаровується, по корпусах W_i .
3. Визначення коефіцієнтів теплопередачі по корпусах K_i .
4. Визначення поверхонь гріючих камер, по корпусах установки F_i .

Загальна кількість води, що випарувалася, дорівнює:

$$W = S_0 \left(1 - \frac{b_0}{b_n}\right). \quad (1)$$

Орієнтовні кількості води W'_i , що випарувалася по корпусах, можна знайти по наступному рівнянню:

$$W'_i = W \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i}. \quad (2)$$

Значеннями a_i задаються, виходячи із практичних даних, наприклад, $a_1=1,0$; $a_2=1,1$; $a_3=1,2$, і т.д. [4]. Тоді орієнтовні концентрації b_i розчину по корпусах (у припущенні, що в кожному корпусі киплячий розчин ідеально перемішаний):

$$b'_i = \frac{S_0 b_0}{S_0 - \sum_{i=1}^n W'_i}. \quad (3)$$

Розподіляємо з тих або інших міркувань перепад тисків $P_{21}-P_n$ по корпусах, звичайно цей перепад тисків розподіляють порівно, тобто:

$$\frac{P_{21} - P_n}{n}. \quad (4)$$

Розраховані із цих міркувань тиску P_i вторинних парів вважаємо вихідними даними. По цих тисках P_i визначаємо температури t_{bi} вторинних парів по корпусах.

Приймаємо, що:

$$t_{2i} = t_{bi-1}, \quad (5)$$

тобто зневажаємо зниженням температури і тиску при русі вторинних пар по трубопроводах між корпусами.

Концентраційні депресії визначаємо по методу І.А.Тищенко [4]:

$$\Theta_{1i} = \omega_i \cdot \Theta_{1n}. \quad (6)$$

Для визначення гідростатичної депресії спочатку знаходимо тиск по середині стовпа киплячої парорідинної суміші в трубці:

$$P_{ci} = P_{ei} + \Delta P_i = P_{ei} + \frac{h_c \rho_{nei}}{9,91}. \quad (7)$$

По тисках P_{ci} знаходимо температури t_{ci} кипіння води. Тоді гідростатична депресія:

$$\Theta_{21} = t_{ci} - t_{ei}. \quad (8)$$

Сумарна температурна депресія в i -тому корпусі дорівнює:

$$\Theta_i = \Theta_{1i} + \Theta_{2i}, \quad (9)$$

а всієї установки:

$$\Theta = \sum_{i=1}^n (\Theta_{1i} + \Theta_{2i}). \quad (10)$$

Температура кипіння розчину по середині його стовпа в кип'ятильній трубці i -того корпуса дорівнює:

$$t_{ki} = t_{2i} + \Theta_{1i} + \Theta_{2i}. \quad (11)$$

Корисна різниця температур в i -тім корпусі:

$$\Delta t_i = t_{2i} - t_{ki}. \quad (12)$$

Попутно відзначимо, що загальна різниця температур установки:

$$\Delta t_{заг} = t_{21} - t_{en}, \quad (13)$$

а сумарна корисна різниця установки:

$$\Delta t_{кор} = \Delta t_{заг} - \sum_{i=1}^n \Theta_{1i} + \Theta_{2i}. \quad (14)$$

Далі на основі отриманих даних уточнимо значення кількостей вологи, що випарувалася, та концентрації розчину по корпусах установки по уточненому методу Г.Н.Костенко:

$$\begin{aligned} W_1 &= (U_1 + S_0 c_0 \beta_0) \Delta, \\ W_2 &= (U_2 + S_0 c_0 - W_1 \beta_2) \Delta, \\ W_n &= \left(D_n + \left(S_0 c_0 - \sum_{i=1}^n W_i \right) \beta_n \right) \Delta, \end{aligned} \quad (15)$$

де коефіцієнти само випаровування [3]:

$$\beta_i = \frac{t_{ki-1} - t_{ki}}{t_{ei} - t_{ki}}. \quad (16)$$

В рівняннях (15) прийнято, що теплоти концентрування дорівнюють нулю, коефіцієнти випаровування дорівнюють одиниці, а коефіцієнт Δ , що враховує втрати тепла в навколишнє середовище, однаковий для всіх корпусів установка.

Чисельні значення Δ вибирають в межах $\Delta = 0,92 + 0,98$ [3].

Відзначимо також, що при подачі початкового розчину в перший корпус при температурі кипіння ($t_{ki-1} = t_{ki}$) $\beta_i = 0$.

Витрати гріючої пари в i -тому корпусі дорівнює [3]:

$$D_i = W_{i-1} - E_{i-1}. \quad (17)$$

Уточнені значення концентрацій розчину по корпусах:

$$e_i = \frac{e_0 S_0}{S_0 - \sum_{i=1}^n W_i}. \quad (18)$$

Теплове навантаження i -того корпуса установки:

$$Q_i = D_i (h_{2i} - i_{ki}). \quad (19)$$

Коефіцієнти тепловіддачі α_i при конденсації пари в i -тому корпусі визначаємо з рівняння [4]:

$$\alpha_{li} = A_{li} q_i^{1,33}, \quad (20)$$

де:

$$A_{li} = 1,21 \lambda_{ni} \left(\frac{\rho_{ni}^2 r_i g}{\mu_{ni} H} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (21)$$

У виразі (21) фізичні параметри, окрім прихованої теплоти r_i конденсації, вибираються при середній температурі t_{ni} плівки конденсату, що у даному розрахунку визначається по рівнянню:

$$t_{ni} = t_{2i} - 0,25 \Delta t_i. \quad (22)$$

Прихована теплота r_i конденсації водяної пари знаходиться при температурі t_{ri} насичення граючої пари.

Коефіцієнти тепловіддачі α_{ri} при кипінні розчину у вертикальних трубках i -того корпусу при природній циркуляції:

$$\alpha_{2i} = A_{2i} q_i^{\frac{2}{3}}, \quad (23)$$

де:

$$A_{2i} = f_i \left[\frac{\lambda_{pi}^2}{\nu_{pi} \sigma_i t_{ki} + 273} \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (24)$$

$$f_i = 0,075 \left[1 + 10 \left(\frac{\rho_{pi}}{\rho_{napi}} - 1 \right) \right]^{-\frac{2}{3}}. \quad (25)$$

Фізичні параметри у виразах (24) і (25) знаходять при температурі t_{ki} кипіння розчину (крім густини ρ_{napi} яка визначається при температурі t_{ei} та тиску P_i).

Відзначимо, що при зміні виду тепловіддачі замість рівнянь (20) і (22) варто використати інші залежності.

Коефіцієнти теплопередачі по корпусах установки [3]:

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{1i}} + r_c + \frac{1}{\alpha_{2i}}}, \quad (26)$$

У розрахунку прийнято, що термічні опори r_c стінок і забруднень постійні в часі й однакові для всіх корпусів.

З іншого боку:

$$K_i = \frac{q_i}{\Delta t r_i}, \quad (27)$$

Комбінуючи рівняння (20), (22), (25) і (26), одержимо:

$$\frac{1}{A_{1i}} q_i^{1,33} + r_c q_i + \frac{1}{A_{2i}} q_i^{0,33} - \Delta t_i = 0, \quad (28)$$

Розрахунок густини q_i теплового потоку по рівнянню (27) ведеться методом послідовних наближень.

Поверхня теплообміну третин камери i -того корпусу дорівнює [3]:

$$F_i = \frac{Q_i}{K_i \Delta t_i}, \quad (29)$$

Висновок

В результаті теплового розрахунку, були визначені основні параметри процесу теплообміну.

Параметри процесу теплообміну

Параметр	Значення
Необхідна поверхня теплообміну, m^2	62,19
Коефіцієнт тепловіддачі (від пари до труби), $Вт/м^2K$	8189
Коефіцієнт тепловіддачі (від труби до розчину лугу), $Вт/м^2K$	644,95
Коефіцієнт теплопередачі, $Вт/м^2K$	485,44
Режим руху розчину лугу	Ламінарний
Критерій Рейнольдса	1448,28
Швидкість руху розчину лугу, $м/с$	0,1898
Об'ємний видаток розчину лугу, $м^3/с*10^4$	2,7069
Масовий видаток розчину лугу, $кг/с$	3,611

Характеристики випарки

Число корпусів	2
Площа поверхні теплообміну, $м^2$	72
Довжина труб, $м$	4
Кількість труб	58
Внутрішній діаметр труби, $м$	0,021
Товщина стінки труби, $м$	0,002
Робочий тиск, $кгс/см^2(кПа)$	3

Площа поверхні теплообміну теплообмінника – 72 $м^2$. Розрахункова площа теплообміну – 62,19 $м^2$. Запас поверхні теплообміну – 15,77%.

7 Список рекомендованої літератури

1. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1987, 576 с.
2. Плановский А. Н., Рамм В. М., Каган С. З. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Госхимиздат, 1962.
3. Корнієнко Я.М., Лукач Ю.Ю., Мікульонок І.О., та ін. Процеси та обладнання хімічної технології: К: НТТУ "КПІ", 2011. - 300 с.
4. О. Флореа, О. Смигельский. Расчеты по прцесам и аппаратам химической технологии.- М.: Химия, 1971. - 448 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973, 750 с.
6. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии: в 2 кн - М.: Химия, 1995
7. М.К. Захаров, Г.А. Носков и др. Под ред. В.Г. Айнштейна. М.: Логос; Высшая школа, Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: учебник: в 2 кн. / В.Г. Айнштейн, 2003.
8. Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию/Под ред. Ю.И. Дытнерского.- М.: Химия, 1983.- 272 с.
9. Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. – Л.: Химия, 1991. – 352 с.
10. Лацинский А. А., Толчинский А. Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры - Л.: Машиностроение, 1970. – 752 с.
11. Справочник химика. - М. - Л.: Госхимиздат, 1963, Т.1, 1071 с.
12. Справочник химика. - М. - Л.: Госхимиздат, 1965, Т.3, 1008 с.
13. Физическая химия. Под ред. Стромберг А.Г. М.: - Высшая школа, 1988, 496 с.
14. Оформление графической документации. Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов / Сост. В.Н. Марчевский. – 1989.

15. Вимоги до оформлення текстової документації. Методичні вказівки до виконання курсових, бакалаврських і дипломних проектів. Укл. Степанюк А.Р., Швед М.П.

Завдання на розрахункову роботу

Розрахувати випарний апарат для концентрування конденсації речовини «Р». Початкова концентрація речовини C_{p1} , кінцева - C_{p2} . Втрата теплоти крізь зовнішню поверхню теплообмінника прийняти ____% від корисно витраченої теплоти. Робочий тиск речовини p_p , агента - p_A .

Варіант	Речовина «Р»	Варіант	$G \times 10^m$, кг/с	Варіант	C_{p1} , %	Варіант	C_{p2} , %
1	розчин NaCl у воді	1	0,50	1	11	1	60
2	розчин CaCl у воді	2	0,60	2	14	2	62
3	розчин NaSO ₄ у воді	3	0,70	3	18	3	64
4	розчин Ca SO ₄ у воді	4	0,80	4	22	4	66
5	розчин NaCl у воді	5	0,90	5	24	5	68
6	розчин CaCl у воді	6	0,95	6	26	6	70
7	розчин NaSO ₄ у воді	7	1,20	7	28	7	72
8	розчин Ca SO ₄ у воді	8	1,30	8	30	8	74
9	розчин CaCl у воді	9	1,40	9	32	9	76
0	розчин NaSO ₄ у воді	0	1,50	0	34	0	80

Теплоносії – насичена водяна пара (відносна масова частка повітря в парі $Y_{\text{пов}} = \text{____} \%$ (мас.);

Тиск: $p_p = \text{____}$ МПа; $p_A = \text{____}$ МПа.

** потрібні параметри позначені, або вписані викладачем*

Група	Студент	Дата видачі	Видав
	_____		_____
	ПІБ студента		ПІБ керівника
	_____		_____
	Підпис студента		Підпис керівника